

RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E À COMPRESSÃO PARALELA DO BAMBU-MOSSÔ (*Phyllostachys pubescens*)

Rodrigo Strzelecki Berndsen¹, Ricardo Jorge Klitzke², Djeison Cesar Batista³,
Eduardo Mauro do Nascimento⁴, Fabiano Ostapiv⁴

¹Tecnólogo Mecânico, M.Sc., Depto. de Design de Produto, UP, Curitiba, PR, Brasil - rodrigoberndsen@yahoo.com.br

²Eng. Florestal, Dr., Depto. de Engenharia e Tecnologia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - rjklitzke@gmail.com

³Eng. Florestal, M.Sc., Depto. de Ciências Florestais e da Madeira, UFES, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil - djeison.batista@ufes.br

⁴Eng. Mecânico, Dr., Depto. de Engenharia Mecânica UTFPR, Curitiba, PR, Brasil - nascimento@utfpr.edu.br; ostapiv@utfpr.edu.br

Recebido para publicação: 01/10/2012 – Aceito para publicação: 28/05/2013

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar o efeito da posição do colmo e da idade nas propriedades mecânicas de flexão estática e compressão paralela às fibras do bambu-mossô (*Phyllostachys pubescens*), correlacionando a densidade aparente com as propriedades avaliadas. Os corpos de prova utilizados nos ensaios foram produzidos de material laminado colado, adaptados segundo a norma para madeira sólida ASTM D143-96, seguindo as proporções mantidas por Ahmad (2000). Os resultados apresentaram tendência crescente da resistência na flexão estática com a idade e com a posição do colmo em termos absolutos. Para os ensaios de compressão paralela às fibras, a resistência à compressão (fc) e o MOE tiveram a mesma tendência de aumento da resistência com a idade e com a posição. Os ensaios demonstraram estatisticamente que não houve efeito significativo da interação entre a idade e a posição do colmo. A densidade aparente apresentou uma correlação linear e positiva no teste de flexão estática quanto aos valores do MOR e do MOE, assim como no teste de compressão paralela às fibras para a resistência à compressão (fc) e para o MOE. Baixos coeficientes de correlação foram obtidos entre a densidade aparente e as propriedades mecânicas estudadas.

Palavras-chave: Propriedades mecânicas; idade; posição no colmo.

Abstract

Compressive strength and flexure of Moso bamboo (Phyllostachys pubescens). The aim of this study was to determine the mechanical properties of bending and compression parallel to grain of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) and analyze the effect of stem position and age on these properties. It was also studied the correlation between the bulk density and mechanical properties. The tests used specimens produced in glued laminated material, adapted according to ASTM D143 solid wood-96 norm, following proportions maintained by Ahmad (2000). The results revealed increasing trend of resistance in bending with age and stem position in absolute terms. In relation to compression tests parallel to grain, the compression strength (fc) and the MOE had the same tendency to increase resistance with age and with the position. The tests revealed that there was no statistically significant interaction between age and culm position. The apparent density of bamboo revealed a positive and linear correlation in bending test at MOR and MOE, as well as at parallel compression test to the fibers for the compression force (fc) and the MOE. Low correlation coefficients had been obtained between the focused apparent density and mechanical properties.

Keywords: Mechanical properties; age; position of the culm.

INTRODUÇÃO

As florestas plantadas de *Pinus* e *Eucalyptus* representam a fonte mais importante de suprimento de matéria-prima da indústria brasileira de base florestal na atualidade, desempenhando um papel estratégico na economia de produtos florestais madeireiros.

De acordo com Nahuz (2007), a oferta de madeira de florestas plantadas está concentrada nas indústrias de celulose e painéis reconstituídos, especialmente nas empresas verticalizadas. As áreas

plantadas mostram-se aquém daquela que seria necessária para atender à demanda crescente, resultando em déficit de madeira.

Dessa maneira, a busca e o conhecimento das características de potenciais matérias-primas alternativas estão ganhando atenção especial no meio científico, enquadrando-se, neste caso, o bambu como um dos principais substitutos para a madeira. O bambu, apesar de suas amplas possibilidades de utilização como material fibroso, é ainda pouco utilizado no Brasil em comparação às espécies arbóreas ou madeireiras, que representam quase a totalidade da matéria-prima fibrosa empregada nas mais variadas utilizações, desde a simples queima para gerar energia de uso doméstico até a produção industrial de celulose e papel (BERALDO; AZZINI, 2004).

O *Phyllostachys pubescens*, vulgarmente conhecido como “bambu-mossô”, é a espécie de bambu mais importante da China, cobrindo uma área de três milhões de hectares, correspondendo a cerca de 2% do total da área florestal desse país. É a principal espécie destinada tanto para a produção de bambu laminado e colado (BLC) como na produção de broto, desempenhando um importante papel para o meio ambiente. Seu crescimento é de cerca de 30 a 50 cm (podendo, em casos excepcionais, crescer 100 cm) em 24 h e atinge uma altura em torno de aproximadamente 24 m em 40 a 50 dias (FU, 2000).

O bambu-mossô foi introduzido no Japão em 1736, na Europa em 1880 e nos Estados Unidos em 1890. Hoje, existem mais de 50.000 hectares dessa espécie no Japão. O bambu-mossô pode ser plantado por meio de transplante de mudas de um bambuzal já existente ou plantado por meio de sementes, sendo este método pouco utilizado. Um bambuzal pode ser formado após poucos anos depois do transplante de mudas, levando cerca de 10 anos para formar colmos de 10 a 12 cm de diâmetro, caso o plantio seja plantado por meio de sementes. Um hectare de bambu-mossô pode produzir de 6 a 10 toneladas de novos colmos por ano. Na China, colmos com menos de um ano têm sido usados na fabricação de papel, denotando a precocidade na exploração dessa espécie (FU, 2001).

A produção do bambu laminado colado para produção de painéis teve início na década de 1980 na China (RIVERO, 2003). A China é hoje o país que detém o maior conhecimento sobre a industrialização de painéis à base de bambu e é responsável pela maior produção em volume desse material. Entre os principais painéis à base de bambu estão os painéis de partículas, painéis à base de ripas prensadas a alta temperatura (BPSL – *bamboo parallel strip lumber*) e o painel de ripas serradas, aplainadas e coladas, conhecido na China como LBL (*laminated bamboo lumber*), e o piso natural conhecido como *natural strand woven bamboo flooring* (GARBINO *et al.*, 2002).

Segundo Berndsen (2008), no Brasil, o bambu-mossô ocorre em áreas específicas, geralmente em propriedades pertencentes a imigrantes japoneses, os quais trouxeram essa espécie há cerca de 60 anos, para consumo na forma de brotos. Em função do crescente interesse pelo bambu como uma alternativa para o setor madeireiro, empresas estão investindo no plantio dessa espécie na região Sul do país, visando à fabricação de móveis produzido com BLC.

As propriedades físicas e mecânicas dos colmos do bambu estão fortemente relacionadas com sua estrutura anatômica, e são modificadas com a maturidade dos mesmos. Macroscopicamente, as propriedades mecânicas do colmo são influenciadas pela densidade aparente, a qual varia aproximadamente de 0,50 a 0,90 g/cm³. A densidade aparente depende principalmente da espessura da parede celular, conteúdo e diâmetro das fibras. É por isso que tal propriedade varia consideravelmente dentro do colmo e entre as espécies de bambu (LIESE, 1998; BERNDSEN *et al.*, 2010).

Variações significativas das propriedades mecânicas de colmos de diferentes idades e avaliados em diferentes posições do colmo têm sido relatadas na literatura, relatando-se que as resistências à tração, compressão e flexão aumentam gradualmente com a idade e a altura (AHMAD, 2000). Apesar do relato de pesquisas bem sucedidas, tem sido reportado o inconveniente para se determinar as propriedades mecânicas dos colmos de bambu, porque não há padronização, e cada pesquisador adota uma metodologia diferenciada, o que torna difícil a comparação de resultados (BERNDSEN, 2008).

Ghavami e Marinho (2001), em estudos sobre as propriedades do bambu, obtiveram resultados superiores aos do aço, madeira e concreto em determinadas situações. Na maioria das espécies de bambu, a resistência mecânica aumenta gradualmente durante os primeiros cinco anos e é reduzida depois dos nove anos, quando a planta entra em declínio (CHUN, 2003).

Li (2004) avaliou a densidade aparente e a resistência em flexão estática do *P. pubescens* nas idades de um, três e cinco anos. Para colmos de um ano de idade, as médias de densidade aparente foram de 0,49 e 0,54 g/cm³, respectivamente, para a base e o topo, enquanto que aos cinco anos as médias de base e topo foram, respectivamente, de 0,75 e 0,76 g/cm³. Assim, comparando-se uma mesma posição,

houve aumento significativo da densidade aparente com o aumento da idade do bambu. O módulo de ruptura (MOR) na flexão estática na idade de um ano variou de 110,3 MPa, na base, a 117,2 MPa, no topo, enquanto que aos cinco anos o MOR na base foi de 186,2 MPa e no topo foi de 183,4 MPa, representando um aumento de até 69% nessa propriedade com o aumento da idade do colmo. Para colmos de um ano, o MOE foi de 7.770 e 8.929 MPa para base e topo, respectivamente, enquanto que aos cinco anos as médias foram de 13.162 e 13.307 MPa para base e topo, representando um aumento de até 69% no MOE com o aumento da idade. O MOR não diferiu estatisticamente entre as posições dos colmos, mas aumentou significativamente conforme a idade.

Chun (2003), estudando a influência da idade nas propriedades mecânicas do bambu-mossô, não observou aumento da resistência à compressão paralela às fibras com a idade. Os valores ficaram em torno de 63,5 MPa em todas as idades estudadas. O mesmo ocorrendo para o MOR em flexão estática, obtendo resultados em torno de 160 MPa. A posição do colmo no sentido base-topo apresentou aumento da resistência à compressão paralela às fibras (f_c) e no MOR em flexão estática. De acordo com Li (2004), o MOR em flexão estática não é significativamente diferente conforme a posição dos colmos, mas aumenta conforme a idade dos colmos. AHMAD (2000) encontrou variações significativas das propriedades mecânicas com colmos de diferentes idades e posições.

O objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades mecânicas de flexão estática e compressão paralela às fibras do bambu-mossô (*Phyllostachys pubescens*), correlacionando tais propriedades com a densidade básica. Foram investigadas as diferenças entre os valores das propriedades mecânicas em diferentes posições do colmo (base, meio e topo) e diferentes idades (um, três e cinco anos), visando o momento ideal para a melhor utilização dessa matéria-prima pela indústria de transformação.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta do material

Os colmos de bambu-mossô foram coletados na colônia Parque Verde, pertencente ao município de Fazenda Rio Grande, estado do Paraná, localizada a 25°40' S e 49°19,5' W. O diâmetro basal médio dos colmos escolhidos foi de 12 cm, e a média de altura foi de 17 m. Foram coletados três colmos de cada idade estimada (um, três e cinco anos), totalizando 12 colmos.

Fu (2000) apresentou uma tabela para a estimativa de idade do bambu-mossô conforme características visuais. Cor verde escuro indica de um a dois anos, cor verde indica de três a quatro anos, cor verde amarelado de cinco a seis anos. Neste estudo, as áreas eram devidamente identificadas quanto a sua idade de plantio.

Foram utilizados os primeiros 5 m dos colmos, divididos em “base”, “meio” e “topo”, tendo cada seção 1 m de comprimento, conforme pode ser observado na figura 1. Segundo Li (2004), as propriedades mecânicas não sofrem significativas variações acima dessa altura.

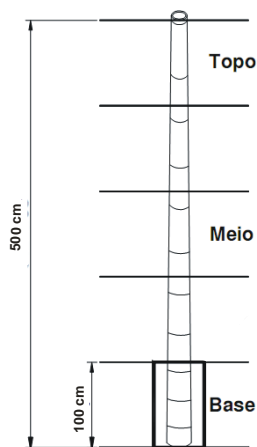


Figura 1. Partes estudadas dos colmos: base, meio e topo.

Figure 1. Focused parts of the culms: bottom, middle and top.

Depois de definidas as partes a serem estudadas, conforme descrito na figura 1, as partes dos colmos foram cortadas longitudinalmente em seções iguais (Figura 2).



Figura 2. Colmos cortados para obtenção das ripas.

Figure 2. Strips production.

De cada seção foram produzidas réguas de 30 mm de largura. Em seguida, as mesmas foram aplainadas, secas em estufa semi-industrial e acondicionadas em câmara climática ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 3\%$). Após o acondicionamento das ripas, foram produzidos os corpos de prova.

Determinação das propriedades mecânicas

Ainda não existe uma norma específica para os ensaios das propriedades mecânicas do bambu, e eles foram feitos com adaptações da norma para madeira (ASTM D143-96 – *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*). A principal adaptação feita neste trabalho foi quanto às dimensões dos corpos de prova, porque a razão de material lenhoso em relação ao diâmetro dos colmos é pequena, o que limita a confecção de corpos de prova quanto aos tamanhos demandados pelas normas de ensaio de madeira.

Assim, devido à distância entre nós e à espessura dos colmos de bambu, os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram confeccionados em dimensões reduzidas em relação àquelas estipuladas pela norma ASTM D143-96, seguindo as proporções mantidas por Ahmad (2000).

Previamente aos ensaios, determinou-se a densidade aparente dos corpos de prova pelo método estereométrico, correspondente à umidade de equilíbrio com o ambiente climatizado da câmara ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 3\%$ de umidade relativa).

Flexão estática

Para este ensaio, utilizaram-se 27 corpos de prova para cada idade em cada posição, com dimensões de 4 x 16 x 64 mm, totalizando 81 corpos de prova. Foram ensaiados em uma máquina universal de ensaios, EMIC, com capacidade de carga de 10 toneladas-força. O vão entre os apoios foi de 56 mm e a velocidade do ensaio foi de 2 mm/min., seguindo a recomendação de Berndsen (2008). Por causa da pequena dimensão dos corpos de prova, a deformação foi registrada por meio do sensor de deslocamento inserido nas camadas inferiores do corpo de prova.

O ensaio para a determinação da resistência à flexão consiste na aplicação de uma carga a um corpo de prova que repousa sobre dois apoios, na metade de seu comprimento, para causar tensões e deformações mensuráveis, até sua ruptura, conforme figura 3.

Neste ensaio, foram determinados os módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE), conforme as equações 1 e 2, respectivamente.

$$MOR = \frac{1,5.P.l}{b.h^2} \quad (1)$$

$$MOE = \frac{P \cdot l^3}{4.D \cdot b.h^3} \quad (2)$$

Em que: MOR = módulo de ruptura na flexão estática (MPa);
 MOE = módulo de elasticidade da flexão estática (MPa);
 P = carga de ruptura (N);
 P' = carga no limite de proporcionalidade (N);
 l = distância entre os suportes (mm);
 D' = deformação no limite de proporcionalidade (mm);
 b = largura do corpo de prova (mm);
 h = altura do corpo de prova (mm).



Figura 3. Dispositivo utilizado para o ensaio de flexão estática.
 Figure 3. Device used for the static bending.

Compressão paralela às fibras

Em função do formato geométrico das lâminas de bambu, os corpos de prova para o ensaio de compressão paralela às fibras foram confeccionados a partir da colagem de lâminas, utilizando-se um adesivo à base de poliacetato de vinila (PVA), com aplicação de aproximadamente 180 g/m². Aplicou-se pressão de 6 a 10 kgf/cm² a frio durante uma hora, a fim de se obter uma seção quadrada dos corpos de prova. As dimensões dos corpos de prova após a colagem foram de 14 x 14 mm de seção transversal e 42 mm de comprimento. As espessuras das lâminas foram de 5,0 mm, 4,0 mm e 3,5 mm para base, meio e topo, respectivamente. Para cada idade em cada posição, foram ensaiados 18 corpos de prova, totalizando 54 corpos de prova. Os ensaios foram realizados em máquina universal de ensaios da marca EMIC, com capacidade de 10 toneladas-força. A velocidade de carregamento aplicada foi de 0,126 mm/min., seguindo a recomendação de Berndsen (2008).

Neste ensaio, determinaram-se a resistência à compressão paralela às fibras (f_c) e o módulo de elasticidade (MOE), conforme as equações 3 e 4, respectivamente.

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

$$MOE = \frac{P \cdot L}{A \cdot D} \quad (4)$$

Em que: f_c = resistência à compressão paralela às fibras (MPa);

MOE = módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras (MPa);

P = carga de ruptura (N);

P' = carga no limite de proporcionalidade (N);

A = área da seção transversal do corpo de prova (mm²);

L = comprimento do transdutor (mm);

D' = deformação no limite de proporcionalidade (mm).

Análise estatística

Da combinação das três idades dos colmos e das três posições, das quais foram retirados os corpos de prova (base, meio e topo), resultaram os nove tratamentos, que foram analisados em delineamento inteiramente casualizado (DIC). A análise de variância (ANOVA) em arranjo fatorial (95% de probabilidade) foi aplicada aos resultados dos tratamentos, para se observar se houve diferença estatisticamente significativa entre eles. Foram combinados os fatores idade (um, três e cinco anos) e posição (base, meio e topo), resultando em um fatorial 3 x 3, analisando-se a possível interação entre os fatores. Quando a hipótese da nulidade foi rejeitada, aplicou-se o teste de Tukey (95% de probabilidade) para a diferenciação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Flexão estática

A umidade inicial média dos corpos de prova no momento dos ensaios foi de 14,5%. O efeito da interação entre os fatores idade e posição não foi significativo a 5% de probabilidade tanto para o MOR quanto para o MOE em flexão estática, com valores de F calculado de 1,93^{ns} e 1,21^{ns}, respectivamente. Assim, foram analisados os fatores separadamente, os quais se mostraram significativos tanto para MOR (F = 8,72** para idade e F = 16,80** para posição) quanto para MOE (F = 10,05** para idade e F = 25,18** para posição). Os resultados médios encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Teste de médias para MOR e MOE na flexão estática e densidade aparente de acordo com a idade e a posição dos colmos de *P. pubescens*.

Table 1. Multiple range tests for MOR and MOE in static bending and density according to age and culm position of *P. pubescens*.

Flexão estática	Idade (anos)			Posição do colmo			Média geral
	Um	Três	Cinco	Base	Meio	Topo	
MOR (MPa)	160 ^a (12%)	166 ^a (12%)	176 ^b (9%)	154 ^a (12%)	173 ^b (9%)	174 ^b (9%)	167 (10,5%)
MOE (MPa)	12.990 ^a (14%)	13.618 ^a (12%)	14.544 ^b (10%)	12.289 ^a (13%)	14.316 ^b (9%)	14.559 ^b (9%)	13.719 (11,2%)
Densidade aparente (g/cm ³)	0,60 ^a (17,8%)	0,67 ^a (4,3%)	0,76 ^b (10,4%)	0,55 ^a (12%)	0,69 ^b (4,5%)	0,80 ^b (8,9%)	0,68 (9,7%)

Médias seguidas por uma mesma letra em uma mesma linha, para idade ou posição do colmo, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey (5%). Números entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação.

Para o fator idade, observou-se o mesmo padrão tanto para MOR quanto para MOE, no qual as médias dos colmos a 1 e 3 anos de idade não diferiram estatisticamente, enquanto que a idade de 5 anos propiciou a obtenção de médias superiores. Nota-se uma tendência crescente da resistência na flexão estática de acordo com a idade, em termos absolutos.

Para o fator posição, os corpos de prova da região da base apresentaram médias menores de MOR e MOE, enquanto que aquele relativo às posições meio e topo apresentaram médias mais elevadas,

no entanto não diferindo estatisticamente entre si. De forma similar ao que foi relatado para o fator idade, notou-se o aumento gradual da resistência na flexão estática da base para o topo, contrariando, com relação à posição, os resultados obtidos por Li (2004), que afirmou que a resistência à flexão não varia significativamente conforme a posição da amostra no colmo, mas sim conforme a idade do mesmo.

No entanto, os resultados obtidos no presente trabalho encontram-se de acordo com aqueles obtidos por Ahmad (2000), que afirmou que a resistência mecânica dos colmos de bambu apresenta variações significativas com a idade e com a posição, aumentando gradativamente com o aumento de ambas.

Chun (2003) estudou a resistência à flexão estática da espécie *P. pubescens* em cinco diferentes grupos de idade e obteve médias de MOR e MOE de 154 e 10.770 MPa, 162 e 10.370 MPa e 159 e 11.323 MPa, respectivamente, para os três primeiros grupos de idades, que correspondem às idades estudadas neste trabalho. Conforme se pode verificar, os resultados obtidos neste trabalho se mostraram superiores àqueles obtidos por Chun (2003).

Conforme Ahmad (2000), de forma semelhante à madeira, a resistência mecânica do bambu também está correlacionada com a densidade aparente. Neste trabalho, os resultados de resistência na flexão estática apresentaram correlação positiva, em que quanto maior a densidade aparente dos colmos maior a resistência mecânica.

Nas figuras 4 e 5, encontram-se os gráficos de dispersão entre densidade aparente e MOR, e densidade aparente e MOE, respectivamente, obtidos no ensaio de flexão estática.

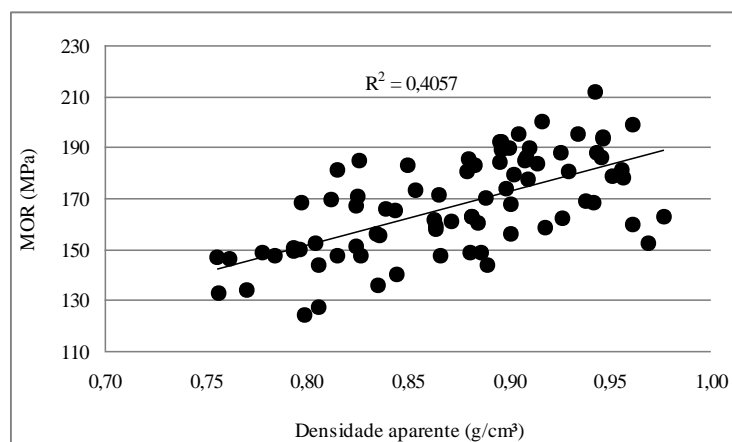


Figura 4. Diagrama de dispersão entre densidade aparente e MOR na flexão estática.
Figure 4. Scatter plot of apparent density and MOR in static bending.

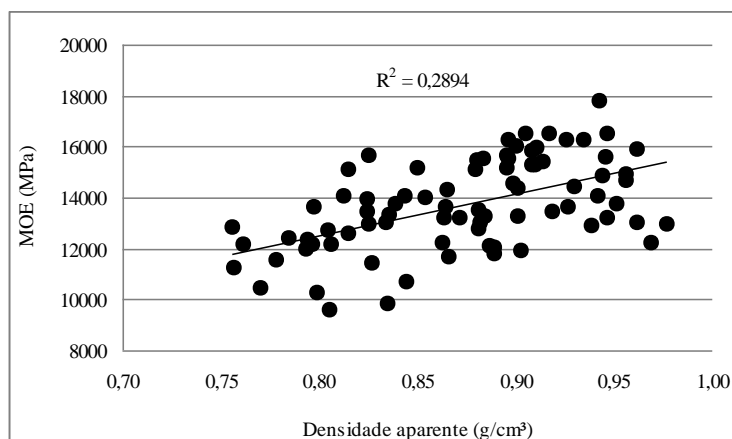


Figura 5. Diagrama de dispersão entre densidade aparente e MOE na flexão estática.
Figure 5. Scatter plot of apparent density and MOE in static bending.

De acordo com as figuras 4 e 5, nota-se uma correlação linear e positiva da densidade aparente entre o MOE e o MOR em flexão estática para o colmo do bambu *P. pubescens*, apesar do R^2 ter apresentado uma baixa correlação em função da grande dispersão dos resultados obtidos. Já o coeficiente de correlação de Pearson indicou uma associação maior entre as variáveis, com 0,64 para densidade aparente e o MOR, e 0,54 para densidade aparente e o MOE, demonstrando que existe relação positiva entre as variáveis.

Compressão paralela às fibras

Da mesma maneira que foi observado no ensaio de flexão estática, o efeito da interação entre os fatores idade e posição não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade tanto para fc quanto para o MOE no ensaio de compressão paralela às fibras, com valores de F calculado de 0,63^{ns} e 0,64^{ns}, respectivamente. Os fatores foram analisados separadamente, os quais se mostraram significativos tanto para a fc (F = 3,90** para idade e F = 8,03** para posição) quanto para o MOE (F = 3,68** para idade e F = 6,81** para posição). Os resultados encontram-se na tabela 2.

Tabela 2. Teste de médias para fc e MOE na compressão paralela às fibras de acordo com a idade e a posição dos colmos de *P. pubescens*.

Table 2. Multiple range tests for fc and MOE in compression parallel to the grain according to age and culm position of *P. pubescens*.

Compressão paralela às fibras	Idade (anos)			Posição do colmo			Média geral
	Um	Três	Cinco	Base	Meio	Topo	
fc (MPa)	36,0 ^a (5%)	42,5 ^b (4%)	41,7 ^b (4%)	35,9 ^a (5%)	38,6 ^a (5%)	45,8 ^b (4%)	40,1 (4,5%)
MOE (MPa)	3.634 ^a (5%)	4.272 ^b (4%)	4.133 ^b (4%)	3.655 ^a (5%)	3.858 ^a (4%)	4.527 ^b (4%)	4.013 (4,3%)
Densidade aparente (g/cm ³)	0,66 ^a (2%)	0,74 ^b (2%)	0,83 ^c (2%)	0,67 ^a (2%)	0,75 ^b (2%)	0,81 ^c (2%)	0,74 (2%)

Médias seguidas por uma mesma letra em uma mesma linha, para idade ou posição do colmo, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey (5%). Números entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação.

De acordo com a tabela 2, os resultados de fc e MOE na compressão paralela às fibras mostraram o mesmo comportamento no fator idade do colmo, indicando menor resistência mecânica com um ano de idade, enquanto que as médias da resistência à compressão paralela às fibras nas idades de três e cinco anos não diferiram estatisticamente. Nesse fator, houve estabilização da fc e do MOE a partir de três anos, com tendência de diminuição da resistência à compressão paralela às fibras aos cinco anos, em termos absolutos. O coeficiente de variação relativo (CV%) encontrado nos ensaios de flexão estática e compressão paralela às fibras podem ser considerados baixo para ambos os ensaios, apesar de os ensaios de flexão estática terem apresentado maior variação entre os resultados obtidos.

Para o fator posição do colmo, as médias referentes à base e meio não diferiram estatisticamente entre si e foram inferiores àquelas relativas ao topo. Nesse fator, houve tendência de aumento da resistência à compressão paralela às fibras no sentido base-topo, em termos absolutos, corroborando os resultados apresentados por Chun (2003).

Com relação ao MOE, observa-se na tabela 2 que a maior média foi igual 4.527 MPa, referente ao topo dos colmos, e o valor mínimo foi de 3.634 MPa, para colmos de um ano. No estudo de Chun (2003), foram obtidas médias de 5.533 MPa para base, 6.886 MPa para o meio e 7.330 MPa para o topo, enquanto que as médias dos colmos do presente estudo foram de 3.655 MPa para base, 3.858 MPa para o meio e 4.527 MPa para o topo. Comparando-se os resultados, observa-se que o valor máximo encontrado em ambos os estudos foi obtido para amostras provenientes do topo dos colmos. Para a fc correspondente

às idades de um, três e cinco anos, as médias deste estudo variaram de 36,0 a 41,7 MPa, e também foram inferiores àsquelas apresentadas por Chun (2003).

Nas figuras 6 e 7 encontram-se os gráficos de dispersão entre densidade aparente e a f_c , e entre densidade aparente e MOE para o teste de compressão paralela às fibras, respectivamente.

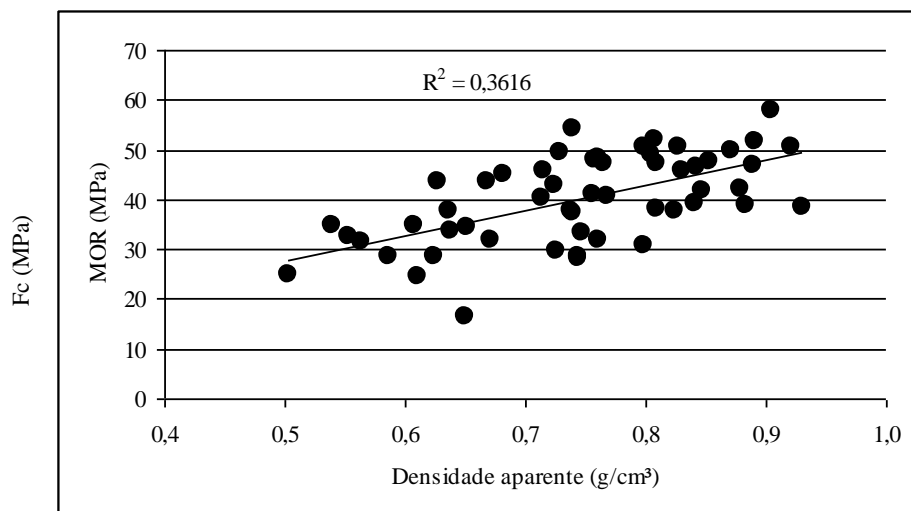


Figura 6. Diagrama de dispersão entre densidade aparente e f_c na compressão paralela às fibras.
Figure 6. Scatter plot of apparent density and f_c in compression parallel to grain.

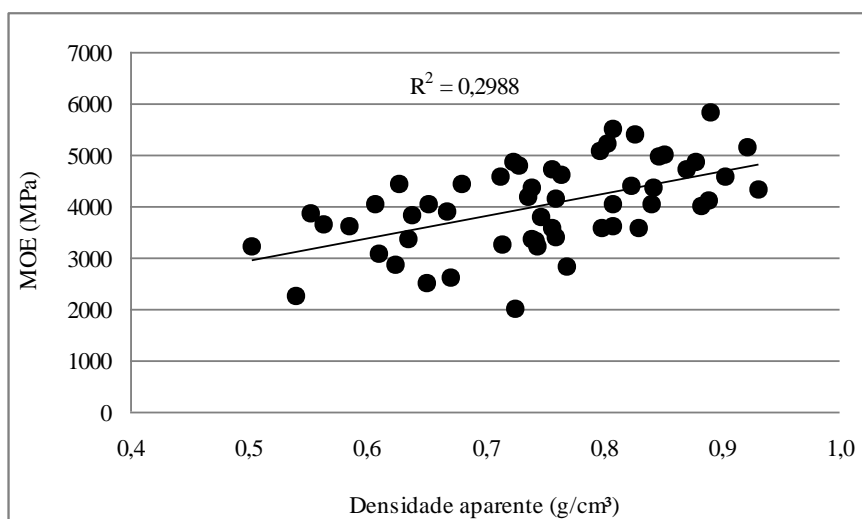


Figura 7. Dispersão entre densidade aparente e o MOE na compressão paralela às fibras.
Figure 7. Scatter plot of apparent density and MOE in compression parallel to grain.

De acordo com as figuras 6 e 7, nota-se uma leve correlação linear e positiva entre densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras para o colmo do bambu *P. pubescens*. No entanto, os coeficientes de determinação (R^2) foram baixos. O coeficiente de correlação de Pearson indicou uma associação maior entre as variáveis, com 0,60 para densidade aparente e o f_c e 0,55 para densidade aparente e o MOE, demonstrando a existência de relação positiva entre as variáveis.

CONCLUSÕES

- O efeito da interação dos fatores idade (1, 3 e 5 anos) dos colmos e da sua posição no colmo (base meio e topo) não foi significativo para os módulos de ruptura e de elasticidade nos ensaios de flexão estática e nem para a resistência à compressão e módulo de elasticidade nos ensaios de compressão paralela.
- No ensaio de flexão estática, os módulos de ruptura e de elasticidade mostraram tendência de aumento da resistência com a idade do colmo e com a posição no colmo.
- No ensaio de compressão paralela às fibras, somente a posição do colmo apresentou tendência de aumento na resistência à compressão e no módulo de ruptura. A idade não apresentou diferença estatística a partir dos três anos.
- Para ambos os testes, a resistência mecânica apresentou correlação linear e positiva com a densidade aparente, no entanto foram obtidos baixos coeficientes de correlação, denotando a heterogeneidade do material.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. **Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials**. Dissertation, Wood Sci. and Forest Products, VT. pp. 210. 2000.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber**. D-143-94. Vol. 04.10 on Wood. Annual Book of ASTM Standards, ASTM. West Conshohocken, PA, 2004.
- BERALDO, A. L.; AZZINI, A. **Bambu: características e aplicações**. Guaíba: Editora Agropecuária, 2004. 180 p.
- BERNDSEN, R. S. **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (*Phyllostachys pubescens*)**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de Concentração em Engenharia de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2008.
- BERNDSEN, R. S.; KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C.; NASCIMENTO, E. M.; OSTAPIV, F. Propriedades físicas do bambu-mossô (*Phyllostachys pubescens*) em diferentes idades e posições do tronco. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 1, p. 183 - 192, 2010.
- CHUN, Z. F. **The production and utilization of bamboo forest in China**. Hangzhou: China National Research Center of Bamboo –CBRC, 2003.
- FU, J. Chinese moso bamboo: its importance. **The Magazine of the American Bamboo Society**, v. 22, n. 5, 2001.
- _____. **“Moso Bamboo” in China**. The Magazine of the American Bamboo Society, v. 21, n. 6, 2000.
- GARBINO, L. V.; GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA M. A. R. **Métodos de ensaio para amostras de bambu laminado**. VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Uberlândia, 2002.
- GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Mossô, Matake, *Guadua angustifolia*, *Guadua tigoara* e *Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia**. Publicação – RMNC Bambu 01/2001 do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. 2001. 53 p.
- LI, X. **Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing**. Dissertation, The School of Renewable Natural Resources, Louisiana, 2004. 76 p.
- LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. INBAR – International Network for Bamboo and Rattan. China: Technical Report, 1998. 204 p.
- NAHUZ, M. A. R. **Centros de Pesquisas - a visão de um pesquisador do IPT sobre planos florestais de longo prazo**. Opiniões, Ribeirão Preto, São Paulo, v. 9, p. 42, 2007.
- RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Campinas, Campinas, 2003.